

## B e s c h r e i b u n g

Verfahren zur Herstellung eines Kontaktes und elektro-  
nisches Bauelement, umfassend derartige Kontakte

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung  
eines Kontaktes und elektronische Bauelemente, umfas-  
send derartige Kontakte.

Ohmsche Metall-Halbleiter-Kontakte mit kleinem Kontakt-  
widerstand werden in der Mikroelektronik z. B. mittels  
Metall-Silizium-Verbindungen, sogenannten Siliziden,  
wie  $\text{TiSi}_2$ ,  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{NiSi}$  und so weiter, auf hochdotiertem  
Silizium realisiert.

Für die Ausgestaltung dieser hochdotierten Bereiche in  
Halbleitersubstraten sind Dotiertiefen im Silizium von  
mindestens 50 bis 100 Nanometer oder sogar mehr erforder-  
lich. Die während der Ionenimplantation eingesetzten  
Dotierelemente, z. B. Arsen oder Bor, werden im Halb-  
leiter in einer gewissen Breite verteilt. Eine an-  
schließende thermische Behandlung führt zur Aktivierung  
der Dotierelemente und zur Diffusion dieser Dotierele-  
mente in dem Halbleiter.

Nachteilig dehnt sich dadurch das Dotierprofil auf we-  
nigstens 50 Nanometer, in der Praxis meist sogar auf  
einige 100 Nanometer aus.

Dies hat zur Folge, dass räumlich vergleichsweise große  
Kontakte entstehen, und die entsprechenden Bauelemente  
nicht weiter verkleinert werden können.

Die sogenannte Roadmap für die Silizium-Nanoelektronik erfordert aber eine weitere Reduzierung bzw. Skalierung dieser Dotierbereiche, um extrem flache Metall-Halbleiter-Übergänge zu bilden.

5 Für das Gebiet der Nanoelektronik ist es daher vorteilhaft, abrupte, idealer Weise atomar scharfe Metall-Halbleiter-Kontakte, die ohmsches Verhalten auf Halbleiterschichten wie Silizium zeigen, herzustellen. Damit sind Kontakte gemeint, die I-V-Kennlinien mit einer  
10 linearen Charakteristik aufweisen und deren Kontaktwiderstand möglichst klein ist.

Für viele Anwendungen sind Metall-Halbleiterkontakte mit Diodenverhalten, sogenannte Schottky-Kontakte, von  
15 großem Interesse. Diese zeigen eine nicht lineare Diodenkennlinie, die von der Schottky-Barriere abhängt. Bei der Herstellung derartiger Schottky-Kontakte ist es wünschenswert, die Barriere abzusenken, so dass Kontakte mit nahezu oder sogar vollständig ohmschen Verhalten entstehen.

20 Ohmsche- und Schottky-Kontakte werden durch eine Temperaturbehandlung in Wasserstoff- oder Deuterium-Atmosphäre passiviert, um die Dichte der nicht abgesättigten Bindungen an der Kontaktgrenzfläche zu reduzieren und so die elektrischen oder auch die optische Eigenschaften zu verbessern.  
25

Diese Art der Passivierung ändert nachteilig aber nicht die Schottky-Barriere oder die Austrittsarbeit des Metalls zu einer anderen Schicht. Weiterhin nachteilig ist, dass Wasserstoff bei relativ niedrigen Temperatu-

ren von z.B. 200 bis 300°C wieder entweicht und so der Passivierungseffekt wieder aufgehoben wird.

Aus dem Stand der Technik sind erste Ergebnisse für Metalle bekannt, nach denen mittels einer Passivierung einer Grenzfläche mit Elementen der Gruppe VI des Periodensystems (Chalcogene) zwischen bestimmten reinen Metallen und einem Halbleiter ohmsches Verhalten derartiger Übergänge gezeigt wurde.

So ist aus Kaxiras (Phys. Rev. B 43, 6824 (1991)) bekannt, die Chalkogene Schwefel und Selen als Adsorbate zur Passivierung einer Silizium-Oberfläche zu nutzen. Dabei werden die freien Oberflächenbindungen (dangling bonds) des Siliziums durch die Adsorbate abgesättigt.

Aus Tao et al. (Appl. Phys. Lett. 82,1559 (2003)) ist bekannt, mittels einer Passivierungsschicht aus Selen einen ohmschen Kontakt mit Magnesium herzustellen. Hierfür wird unter Ultrahochvakuumbedingungen (UHV) Selen und Magnesium in einer Molekularstrahlepitaxieanlage auf einem Silizium-Substrat abgeschieden. Die Selen-Schicht hat dabei eine Dicke von einer Monolage, auf der das Metall unter UHV-Bedingungen abgeschieden wird.

Nachteilig an den gemäß Stand der Technik erzeugten Kontakten ist, dass diese Passivierungseffekte nur bis ca. 300 °C zeigen. Damit ist eine industrielle, das heißt auf Serienherstellung ausgerichtete Prozessierbarkeit von Silizium-Bauelementen aber nicht möglich.

Weiterhin nachteilig sind die aus dem Stand der Technik bekannten Passivierungseffekte nur mit UHV-Abscheidung und nur mit einigen wenigen, reinen Metallen gezeigt worden.

5 Diese Verfahren sind ebenfalls nicht industrietauglich und daher zur serienmäßigen Herstellung von Metall-Halbleiter-Kontakten ungeeignet.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung von Ohmschen Kontakten und von Schottky-Kontakten mit einstellbarer Barrierenhöhe zwischen ei-  
10 ner ersten Schicht und einer zur ersten Schicht angrenzenden Schicht bereit zu stellen.

Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung derartige Kontakte aufweisende Bauelemente bereit zu stellen und deren besonderer Nutzen und vorteilhafte Eigenschaften  
15 gegenüber den Bauelementen aus dem Stand der Technik aufzuzeigen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Hauptanspruch und durch ein elektronisches Bauelement gemäß  
20 Nebenanspruch gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf jeweils rückbezogenen Patentansprüchen.

Das Verfahren zur Herstellung des Kontaktes sieht vor, zunächst Passivierungselemente in oder auf die erste  
25 oder die angrenzende Schicht ein- oder aufzubringen.

Es ist auch möglich die Passivierungselemente vor Bildung der ersten Schicht in deren Ausgangsbestandteile ein oder aufzubringen.

Als angrenzende Schicht kann in Abhängigkeit von der Wahl für die erste Schicht eine Halbleiterschicht oder aber ein Isolator gewählt werden.

Als erste Schicht kann ein Silizid, ein Germanid oder ein reines Metall gewählt werden.

Es ist also möglich die Passivierungselemente in das Silizid, Germanid, Metall als erste Schicht selbst oder aber vor der Silizidbildung bzw. Germanidbildung in dessen metallischen oder siliziumhaltigen bzw. germaniumhaltigen Ausgangsbestandteil einzubringen.

Sodann erfolgt mittels einer Temperaturbehandlung die Anreicherung der Passivierungselemente an mindestens einer Grenzfläche der ersten Schicht zur angrenzenden Schicht.

Im Falle, dass die Passivierungselemente in den metallischen und / oder in den silizium- bzw. germaniumhaltigen Anteil des Silizids bzw. Germanids eingebracht wurden kann die Temperaturbehandlung gleichzeitig auch zur Silizidbildung bzw. Germanidbildung als erste Schicht führen und selbstjustierend die Anreicherung der Passivierungselemente an der Grenzfläche zur angrenzenden Schicht genutzt werden.

Die Grenzfläche(n) zwischen der ersten Schicht und der angrenzenden Schicht wird durch Anreicherung der Passivierungselemente passiviert und zur Herstellung des Kontaktes zwischen erster und angrenzender Schicht verwendet.

Mittels Passivierung der Grenzflächen wird hier also nicht nur die einfache Absättigung freier Bindungen an

einer Silizium-Oberfläche verstanden. Vielmehr wird hier ein erweitertes Konzept vorgestellt, mit dem im Falle eines Metallsilizid-Halbleiter-Kontaktes bzw. Metallgermanid-Halbleiter-Kontaktes die Schottky-Barriere abgesenkt oder sogar ganz eliminiert werden kann. Die Temperaturbeständigkeit dieser Kontakte ist gegeben.

Im Falle eines Metallsilizid- oder Metallgermanid-Isolator-Kontaktes wird die Austrittsarbeit an der Grenzfläche modifiziert bzw. erniedrigt.

Während der Passivierung setzen sich die Passivierungselemente an die Enden freier Bindungen und füllen die Strukturen an der Grenzfläche von erster Schicht und angrenzender Schicht auf.

Als angrenzende Schicht wird eine Halbleiterschicht, z. B. Silizium oder aber ein Dielektrikum gewählt. Die angrenzende Schicht kann ein Substrat, also Tragfunktion für die erste Schicht aufweisen.

Als Silizid wird ein Metall-Silizid oder ein Halbleiter-Silizid gewählt.

Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass zur Herstellung eines derartigen Kontaktes die Passivierung mindestens einer Grenzfläche der ersten Schicht zur angrenzenden Schicht vielfältigste Möglichkeiten der weiteren Prozessierung erlaubt, da dafür, im Gegensatz zum Stand der Technik neben reinen Metallen, auch Silizide und Germanide verwendet werden.

Die Silizide / Germanide zeichnen sich im Vergleich zu passivierten Metall-Halbleiter-Kontakten mit reinen Metallen als Kontakten vorteilhaft durch eine viel höhere thermische Stabilität und damit auch durch eine nachfolgend bessere Prozessierbarkeit aus.

Es sind daher besonders vorteilhaft temperaturfeste Kontakte herstellbar, die mit den Verfahren gemäß Stand der Technik nicht realisierbar sind.

Das aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren der sequentiellen Abscheidung des Passivierungselementes und des Metalls ist nicht vergleichbar mit dem erfindungsgemäßen Verfahren. Vielmehr sieht das erfindungsgemäße Verfahren die selbstjustierende, das heißt lokal begrenzte Anreicherung der Passivierungselemente an den Grenzfläche(n) vor. Dies ist die Voraussetzung für elektronische Bauelemente mit bisher aus dem Stand der Technik nicht erreichten atomar scharfen ohmschen Kontakten auf angrenzenden Schichten, wie Halbleitern aus Silizium und Dielektrika.

Die Passivierungselemente werden hierzu entweder abgeschieden oder implantiert und durch eine anschließende Temperaturbehandlung an der Grenzfläche des Silizids zur angrenzenden Schicht angereichert.

Es ist hierzu möglich, die Passivierungselemente entweder als Schicht zwischen erster und angrenzender Schicht abzuscheiden, oder direkt nahe der Oberfläche in die angrenzende Schicht als Substrat einzubringen.

Es ist aber auch möglich die Passivierungselemente in ein bereits bestehendes Silizid oder Germanid einzubringen.

5 Es ist auch möglich die Passivierungselemente in den metallischen und / oder silizium- oder germaniumhaltigen Anteil eines zu bildenden Silizids oder Germanids auf- oder einzubringen und die Temperaturbehandlung gleichzeitig zur Silizidbildung bzw. Germanidbildung als auch zur Anreicherung an dessen Grenzfläche(n) zur  
10 angrenzenden Schicht zu nutzen.

Es sind je nach Wahl der angrenzenden Schicht auch Kombinationen dieser Verfahren möglich. Damit ist gemeint, dass die Passivierungselemente sowohl in einer angrenzenden Schicht als auch in den metallischen und / oder  
15 siliziumhaltigen, im Falle eines zu bildenden Germanids in den germaniumhaltigen Anteilen auf- oder eingebracht werden können und sodann die Temperaturbehandlung zwecks Anreicherung und gegebenenfalls Silizid- oder Germanidbildung erfolgt.

20 Entscheidend ist immer, dass nach Implantation oder Abscheidung der Passivierungselemente durch die Temperaturbehandlung die aktive Anreicherung der Passivierungselementes an der oder den Grenzfläche(n) der ersten Schicht zur angrenzenden Schicht erfolgt.

25 Für die Temperaturbehandlung kann die Schichtstruktur entweder getempert oder in inerter Atmosphäre unter entsprechenden Temperaturen oxidiert werden.



Die Anreicherung der Passivierungselemente erfolgt mittels thermisch induzierter Segregation aus der Halbleiterschicht bzw. durch Ausdiffusion des Passivierungselementes aus der ersten Schicht an die Grenzfläche zur angrenzenden Schicht.

Voraussetzung hierfür ist, dass die Löslichkeit des Passivierungselementes in den Schichten klein genug ist. Die Anreicherung eines vorab abgeschiedenen oder implantierten Passivierungselementes kann - wie erwähnt - auch während der thermisch induzierten Bildung der ersten Schicht, das heißt während der Silizid- oder Germanidbildung herbeigeführt werden.

Voraussetzung hierfür ist, dass die Löslichkeit des Passivierungselementes in der ersten Schicht ausreichend klein ist. Dann werden durch Schneepflugeffekt die Passivierungselemente von der Silizid- oder Germanidfront zur angrenzenden Schicht, das heißt z. B. zu einer Halbleiterschicht aus Silizium oder einem Dielektrikum, geschoben.

Die Temperaturbehandlung wird dann in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung neben der Passivierung der Grenzflächen gleichzeitig zur Bildung der ersten Schicht genutzt.

Als Passivierungselemente werden insbesondere Chalkogene, wie Selen, Schwefel oder Tellur gewählt.

Chalkogene, wie Schwefel oder Selen zeigen besonders starke Segregationseffekte in Silizium und Siliziden/Germaniden, sodass die Grenzfläche zwischen der

ersten und der angrenzenden Schicht thermisch mit Schwefel oder Selen oder Tellur angereichert wird.

Zur Passivierung, insbesondere mittels eines Chalkogens wird das Passivierungselement vorteilhaft mit einer Dosis von  $10^{12}$  bis  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$  in entsprechende Teile der Schichtstruktur, in das Silizid oder Germanid oder in deren Bestandteile vor der Bildung oder in das Metall als jeweilige erste Schicht und / oder gegebenenfalls auch in die angrenzende Schicht auf- oder eingebracht. Für eine vollständige Passivierung der Grenzfläche(n) der ersten Schicht zur angrenzenden Schicht wird der Fachmann eine Dosis ansetzen, die einer Anreicherung von etwa einer Monolage des Passivierungselementes entspricht. Die Reduktion der Austrittsarbeit eines Silizides bzw. der Schottky-Barriere kann auch bei kleinerer Anreicherung erzielt werden.

Die Passivierung der Grenzfläche kann auch mittels Wasserstoff oder Deuterium oder allgemein mit Ionen der Gruppe 1 des Periodensystems durchgeführt werden.

Das Einbringen der für die Passivierung notwendigen Passivierungselemente kann somit, wie erwähnt, vor oder nach der Erzeugung des Silizids oder Germanids erfolgen. Vorteilhaft bewirkt dies, dass ein Fachmann die Abfolge der Verfahrensschritte dem Materialsystem anpassen kann.

Als angrenzende Schicht ist nicht nur eine einfache Halbleiterschicht aus Silizium denkbar. Vielmehr kann auch verspanntes Silizium, oder Germanium, welches mit einem Metall zu einem Germanid reagiert, oder eine Le-

gierung aus Si-Ge, Si-C, Si-Ge-C verwendet werden, da diese Schichten in der Zukunft von zunehmend größerer Bedeutung sein werden.

5 Es ist auch möglich, als eine angrenzende Schicht kein reines Silizium-Substrat, sondern die besonders dünne und serienmäßig bereits herstellbare Silizium-Deckschicht eines SOI-Substrates als Substrat oder auch ein SOI-Substrat mit verspanntem Silizium, Si-Ge, Si-Ge-C oder Germanium als Deckschicht zu wählen.

10 Die Bildung des Metallsilizids oder Metallgermanids erfolgt nach Stand der Technik durch Abscheidung eines Metalls auf das Silizium- oder Germanium-Substrat und anschließender Temperung oder durch eine zusätzliche selektive Abscheidung, meist selektive Epitaxie von Si-  
15 lizium (oder Si-Ge), vor der Metalldeposition im Kontaktbereich und anschließender Temperaturbehandlung.

Aus einer Germanium-Schicht als angrenzender Schicht entsteht bei der Temperaturbehandlung ein Germanid, aus einer Si-Ge Legierung wird ein ternäres M-Si-Ge-  
20 (M=Metall) Silizid gebildet.

Es ist auch möglich, an Stelle eines Metall-Silizids ein Halbleiter-Silizid als erste Schicht zu wählen bzw. abzuscheiden oder zu bilden.

25 Als Halbleiter-Silizid kommt z. B.  $\text{Ru}_2\text{Si}_3$  oder  $\beta\text{-FeSi}_2$  in Betracht. Mittels Passivierung der Grenzfläche zwischen Silizid und z. B. Silizium-Substrat als angrenzende Schicht können die Banddiskontinuitäten verändert werden. Unter der Voraussetzung, dass Halbleiter-

Silizide durch Dotierung mit geeigneten Materialien, wie z. B. Mangan, Cobalt, Eisen, und so weiter magnetische Eigenschaften erhalten, und die Grenzfläche gegenüber dem Silizium-Substrat erfindungsgemäß passiviert wurde, ist es möglich, mit magnetischen Source- und Drain-Kontakten und einem Gate sogenannte Spin-Transistoren zu realisieren. Polarisierete Elektronen können von dem magnetischen Source Kontakt (magnetisches halbleitendes Silizid) in dem aus Silizium bestehenden Kanalbereich injiziert werden und mittels Feldeffekt, dem sogenannten Rashba Effekt (Rashba E. I., Fiz. Tverd. Tela (Leningrad) (1960), Sov. Phys. Solid State 2, 1109ff.) die Spinrichtung gedreht werden. Die Spindrehung verursacht beim Eintritt des polarisierten Elektrons in den magnetischen Drainbereich eine Widerstandstandsänderung, die als Transistorsignal ausgelesen werden kann.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird als angrenzende Schicht keine Halbleiterschicht sondern ein Dielektrikum gewählt, dessen Grenzfläche(n) zum Silizid oder Germanid oder zu einem Metall als erste Schicht passiviert wird bzw. werden. Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass die Austrittsarbeit von Metallsilizid- / Metallgermanid-Isolator-Kontakten und -Übergängen durch Anreichern von Passivierungselementen an die Grenzfläche(n) des Kontaktes oder Überganges eingestellt werden kann. Ähnlich wie bei einem Schottky-Kontakt ist die Austrittsarbeit durch das Metall und den Isolator bestimmt.

Metallsilizid-Isolator-Übergänge werden besonders vorteilhaft als Gate-Kontakt in zukünftigen MOSFETs einge-

setzt. Die in der heutigen Silizium Technologie üblichen (zweischichtigen) silizidierten Poly-Silizium-Gatekontakte auf dem Gatedielektrikum werden durch einen Metallkontakt, z. B. aus einem metallischen Silizid ersetzt, um die Gatekapazität weiter zu reduzieren.

Für ein Dielektrikum als angrenzende Schicht kann besonders  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  oder ein Oxid mit größerer Permittivität, sogenannte high-K Oxide, gewählt werden, wie z. B.  $\text{HfO}_x$ ,  $\text{ZrO}_x$ ,  $\text{LaAlO}_x$ .

Der Metallanteil eines Metall-Silizids bzw. -Germanids wird vorteilhaft aus der Gruppe von Cobalt, Nickel, Titan, Platin, Wolfram und / oder Molybdän gewählt.

Das Metall-Silizid bzw. das Metall-Germanid wird dann vorteilhaft durch Temperung erzeugt, nachdem eine geeignete Metallschicht auf der angrenzenden silizium- oder germaniumhaltigen Schicht abgeschieden bzw. aufgebracht wurde.

Zusammenfassend ist es somit möglich, Kontakte bzw. Übergänge mit passivierten Grenzflächen zwischen

- einem Halbleiter-Silizid als erste Schicht und einer Halbleiterschicht als angrenzende Schicht, oder
- einem Metall-Silizid / Metall-Germanid als erste Schicht und einer Halbleiterschicht oder einem Isolator als angrenzende Schicht, oder
- einem reinen Metall und einem Isolator zu bilden.

Das Verfahren kann unter Einsatz einer Maske durchgeführt werden.

Dadurch wird vorteilhaft die Kontaktherstellung lateral begrenzt.

5      Besonders vorteilhaft ist, die für die selbstjustierende Bildung des Metallsilizids oder Metallgermanids nach dem Stand der Technik verwendete  $\text{SiO}_2$ -Maske gleichzeitig als Implantationsmaske für das Passivierungselement zu verwenden.

10     Die durch das Verfahren erzielten Vorteile beziehen sich somit auf die Herstellung von ohmschen Kontakten, bzw. von Schottky-Kontakten mit einstellbarer Barrierenhöhe und Metallsilizid- oder Metallgermanid-Isolator-Übergängen mit einstellbarer Austrittsarbeit.

15     Dabei werden Materialien verwendet, die in der Mikroelektronik bereits serienmäßig prozessiert werden. Es lassen sich damit ohmsche Kontakte und auch negative Schottky-Barrieren einstellen. Negative Schottky-Barrieren sind besonders vorteilhaft für ultraschnelle Bauelemente verwendbar, da damit eine ballistische Injektion von Elektronen in eine angrenzende Schicht, z.B. in einen Halbleiter realisiert werden kann (Guo, J. und Lundstrom, M.S. (2002). IEEE Trans. Electron Devices 49, 1897ff.).

25     Ein elektronisches Bauelement umfasst somit mindestens einen auf diese Weise hergestellten passivierten Kontakt.

Die erfindungsgemäßen Kontakte sind zur Herstellung sogenannter Metal-Gates für zukünftige MOSFETs besonders

geeignet, bei denen insbesondere mittels Schwefel, Selen oder Tellur die Austrittsarbeit zu einem Gatedielektrikum eingestellt wird.

5 Es sind mit dem Verfahren z. B. auch ultraflache Metallsilizid-Halbleiterkontakte für Schottky-Barrieren-MOSFETs (SB-MOSFET; MOSFET: metal oxid semiconductor field effect transistor) herstellbar. Die ultraflachen Kontakte ermöglichen es, die Schottky-Barriere an dem Metallsilizid-Halbleiter-Übergang so zu reduzieren oder  
10 sogar ganz zu beseitigen, so dass negative Schottky-Barrieren gebildet werden. Dadurch wird eine Skalierung der SB-MOSFET's insbesondere auf silicon on insulator (SOI) Substraten auch in einer Multi-Gate Anordnung bis Gatelängen < 10 Nanometer möglich.

15 Im Falle eines Halbleiter-Silizids als erste Schicht werden Spin-Transistoren realisierbar, die einen Spintransport vom Halbleiter-Silizid in eine Halbleiterschicht als angrenzende Schicht unter Ausnutzung des sogenannten Rashba-Effektes ermöglichen.

20 Im weiteren wird die Erfindung an Hand von neun Ausführungsbeispielen und der beigefügten sieben Figuren näher beschrieben.

Fig. 1: Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid als erste Schicht und einer  
25 Halbleiterschicht als angrenzende Schicht nach Implantation der Oberfläche der Halbleiterschicht 1 mit einem Passivierungselement und anschließender Abscheidung einer Metallschicht 4. Der Metallsilizid-Halbleiter-Kontakt wird durch passivierte Grenzflächen 6a, 6b des

durch Temperung entstehenden Silizids 5 zur Halbleiterschicht 1 ausgebildet.

5 Fig. 2: Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid als erste Schicht und einer Halbleiterschicht als angrenzende Schicht nach Abscheidung einer Metallschicht (nicht dargestellt) auf eine Halbleiterschicht 21 und erster Temperung zur Bildung des Metallsilizids 25. Sodann Implantation in das Metallsilizid und / oder in die Halbleiterschicht mit  
10 Passivierungselementen. Erneute Temperung zur Anreicherung der Passivierungselemente an den Grenzflächen 26a, 26b des Metallsilizids 25 zur Halbleiterschicht 21.

15 Fig. 3: Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid als erste Schicht und einer Halbleiterschicht als angrenzende Schicht nach Abscheidung einer Metallschicht 34 auf eine Halbleiterschicht 31. Sodann Implantation der Passivierungselemente in das Metall 34 und / oder in die Halbleiterschicht 31. Anschließend erfolgt eine einzige Temperaturbehandlung  
20 zur Bildung des Metallsilizids 35 und gleichzeitigen Anreicherung der Passivierungselemente an den Grenzflächen 36a, 36b des Metallsilizids 35 zur Halbleiterschicht 31.

25 Fig. 4: Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid als erste Schicht und einer Halbleiterschicht als angrenzende Schicht nach Abscheidung eines Passivierungselementes als Schicht 46 auf der Oberfläche einer Halbleiterschicht 41 und anschließender Abscheidung einer Metallschicht 44. Eine einzige



Temperaturbehandlung zur Bildung des Metallsilizids 45 und gleichzeitigen Anreicherung der Passivierungselemente an den Grenzflächen 46a, 46b des Metallsilizids 45 zur Halbleiterschicht 41. Die Silizidschicht 45 wird  
5 erst nach der Abscheidung des Passivierungselementes gebildet und die Anreicherung erfolgt während der Silizidbildung durch Schneepflugeffekt. Die Passivierungselemente werden nicht in das Silizid eingebaut.

Fig. 5: Anordnung eines Metallsilizids 55 als erste  
10 Schicht auf einem Dielektrikum 57 als angrenzende Schicht zur Ausbildung eines Gate-Dielektrikums. Implantation eines Passivierungselementes (Pfeile) in das Metallsilizid 55. Anschließend erfolgt eine Temperaturbehandlung zur Anreicherung des Passivierungselementes  
15 an der Grenzfläche, die zu einer Modifikation der Austrittsarbeit des Gate-Kontaktes führt. Schicht 59 ist eine Tragschicht und besteht z. B. aus Silizium oder aus einem SOI-Struktur-Substrat.

Fig. 6: Bildung und Anordnung eines Metallsilizids 65  
20 als erste Schicht auf einem Dielektrikum 67 als angrenzende Schicht. Zunächst erfolgt die Abscheidung der Bestandteile des Metallsilizids, das heißt ein Metall 64 wird auf einem Poly-Silizium 68 als Bestandteile aufgebracht. Das Passivierungselement wird bevorzugt in das  
25 Poly-Silizium implantiert oder während der Abscheidung eingebracht. Die Bildung des Silizids 65 und die Anreicherung des Passivierungselementes an der Grenzfläche 66a zum Dielektrikum 67 erfolgt durch Temperaturbehandlung (Fig. 6b)).

Fig. 7 Herstellung eines Schottky-Barrieren (SB-) MOS-FETs mit mittels Passivierung modifizierter Schottky-Barriere. Die Passivierung der Grenzflächen 76a und 76b erfolgt durch Implantation der Passivierungselemente in  
5 den Source und Drain Bereichen der Siliziumschicht 71 als erste Schicht und optional auch in das Gatematerial 80 (z.B. Poly-Silizium) (Fig. 7a)).

Erstes Ausführungsbeispiel (Figur 1):

10 Zur Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid 5 als erste Schicht und einer Halbleiterschicht 1 als angrenzende Schicht wird zunächst eine Maske 2, z. B. aus  $\text{SiO}_2$ , auf ein siliziumhaltiges Halbleiter-Substrat 1, insbesondere aus reinem Silizium, aufgebracht (Figur 1a)). Mit Hilfe der Implantationsmaske 2 wird im weiteren die Kontaktherstellung lateral begrenzt.  
15

Sodann wird Selen oder Schwefel oder Tellur als Chalkogen in die Halbleiterschicht 1 nahe dessen Oberfläche, das heißt z. B. bis zu einigen 100 Nanometer Tiefe, im-  
20 plantiert. Dieser Vorgang ist durch Pfeile angedeutet (Figur 1b)). Die Dosis wird so gewählt, dass eine ausreichende Passivierung nach einer Temperaturbehandlung erzielt werden kann. Typischerweise wird hierzu mit einer Dosis von  $10^{13}$ - $10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$  implantiert. Zur Anreicherung des Chalkogens an der Oberfläche und um Implantationsdefekte auszuheilen erfolgt optional eine Temperaturbehandlung.  
25

Nach Implantation und somit nach Bildung des implantierten Bereichs 6 auf bzw. in der Halbleiterschicht 1

erfolgt die Herstellung des Metallsilizid-Halbleiter-Kontaktes. Hierzu wird zunächst der metallische Anteil 4 des Silizids, ausgewählt aus der Gruppe von z. B. Kobalt, Nickel, Titan, Platin, Wolfram oder Molybdän, als dünne Schicht von z. B. 5 bis 50 Nanometern abgeschieden. Im Falle von Kobalt als Metall wird bevorzugt noch eine zusätzliche Titan-Schutzschicht von z. B. 10 Nanometern deponiert, bevor eine zweistufige Temperung zur Silizidbildung durchgeführt wird (nicht dargestellt).

Nach der ersten Temperung bei ca. 550 °C werden nicht reagierte Metallschichten selektiv abgeätzt. Die zweite Temperung erfolgt in einem Temperaturbereich von 700-900°C z. B. für 30 Sekunden. Da die Silizidbildung in dem vorher mit dem Chalkogen implantierten Bereich außerhalb der Maske 2 erfolgt, wird das Chalkogen bevorzugt an den Grenzflächen 6a, b des Metallsilizids 5 zur Halbleiterschicht 1 angereichert, und so eine effiziente Passivierung erreicht. Durch die gleichzeitige Verwendung einer SiO<sub>2</sub>-Maske als Implantationsmaske und zur Silizidbildung erfolgt auch die Bildung der passivierten Grenzflächen selbstjustierend, da die Silizidbildung und die Passivierung durch die Maske auf identische Bereiche begrenzt wird.

Als Resultat wird ein ohmscher Kontakt oder ein Schottky-Kontakt mit kleiner, bei besonders effizienter Passivierung mittels hoher Anreicherung des Passivierungselementes an der Grenzfläche 6a, b, sogar mit negativer Schottky-Barriere erzeugt.

Zweites Ausführungsbeispiel (Figur 2):

Zur Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen

einem Metallsilizid 25 als erste Schicht und einer Halbleiterschicht 21 als angrenzende Schicht wird wiederum zuerst eine Maske 22, z. B. aus  $\text{SiO}_2$  auf ein Halbleiter-Substrat 21, insbesondere aus Silizium als Halbleiter, aufgebracht (Figur 2a). Mit Hilfe der Implantationsmaske 22 aus z. B.  $\text{SiO}_2$  wird im weiteren die Kontaktherstellung lateral begrenzt.

Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel wird vor der durch Pfeile angedeuteten Implantation eines Chalkogens zunächst das Metallsilizid 25 auf der Halbleiterschicht 21 erzeugt. Hierzu wird ein Metall auf die Struktur von Fig. 2a aufgebracht und nach dem Stand der Technik selbstjustierend in dem nicht mit der Maske 22 abgedeckten Bereich durch Temperaturbehandlung in ein Silizid 25 umgewandelt. Der Metallsilizid-Halbleiter-Kontakt besteht aus z. B.  $\text{TiSi}_2$ ,  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{NiSi}$ ,  $\text{NiSi}_2$ ,  $\text{PtSi}$ ,  $\text{WSi}_2$  oder aus einem anderen Metall-Silizid 25 zu einer weiteren Halbleiterschicht 21. Das Metallsilizid 25 weist, wie aus dem ersten Ausführungsbeispiel bekannt, horizontal und vertikal zu der Silizium-Halbleiterschicht 21 verlaufende Grenzflächen 26a, 26b auf. Das Metallsilizid 25 ist somit auch in oder auf der Silizium-Schicht 21 angeordnet.

Erst nach Herstellung des Silizids 25 wird ein Chalkogen, z. B. Schwefel oder Selen oder Tellur entweder direkt in das Metall-Silizid 25 und / oder in die Silizium-Halbleiterschicht 21 nahe dessen Grenzfläche implantiert (Figur 2b). Die Dosis wird so gewählt, dass nach einer Temperung eine ausreichende Passivierung erreicht wird. Beispielsweise werden  $7 \times 10^{14} \text{ Se}^+ \text{ cm}^{-2}$  in das Sili-

zium 21 oder nahe der Grenzflächen implantiert und anschließend bei Temperaturen von z. B. 700-1000°C getempert. Die Grenzflächen 26a und 26b werden dabei mit dem Passivierungselement angereichert. Dadurch wird die  
5 Schottky-Barriere des Silizides 25 an der Grenzfläche 26a und 26b zum Substrat 21 reduziert und mit zunehmender Passivierung verringert, so dass ein ohmscher Kontakt (Barriere = 0) bzw. ein negativer Schottky-Kontakt entsteht. Die Anreicherung wird durch die Implantationsdosis und das Segrationsverhalten des Passivierungselementes in dem Substrat bestimmt.  
10

Drittes Ausführungsbeispiel (Figur 3):

Zur Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid 35 als erste Schicht und einer  
15 Halbleiterschicht 31 als angrenzende Schicht wird wiederum zuerst eine Maske 32, z. B. aus SiO<sub>2</sub>, auf das Halbleiter-Substrat 31, insbesondere aus Silizium als Halbleiter, aufgebracht (Figur 3a). Mit Hilfe der Implantationsmaske 32 aus z. B. SiO<sub>2</sub> wird im weiteren die  
20 Kontaktherstellung lateral begrenzt.

Vor der Implantation, dargestellt durch Pfeile in Figur 3b, wird ein Metall 34, ausgewählt aus der Gruppe von z. B. Cobalt, Nickel, Titan, Platin, Wolfram oder Molybdän, als dünne Metallschicht 34 von z. B. 5 bis 50  
25 Nanometern abgeschieden (Fig. 3a)).

Sodann erfolgt die Implantation, wiederum dargestellt durch Pfeile, direkt in die Metallschicht 34 und / oder nahe der Grenzflächen von Metallschicht 34 zur angrenzenden Schicht 31 (Fig. 3b). Während der thermisch ak-

tivierten Bildung des Metallsilizids 35 reichern sich die Passivierungselemente durch Segregation aus der angrenzenden Schicht 31 und / oder Ausdiffusion aus dem Metallsilizid 35 an den Grenzflächen 36a, 36b an, und erzeugen so den erwünschten Kontakt (Fig. 3c)). Eine selektive Ätzung kann zur Entfernung nicht reagierter Metallschichten angewendet werden.

Viertes Ausführungsbeispiel (Fig. 4)

Zur Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid 45 als erste Schicht und einer Halbleiterschicht 41 als angrenzende Schicht wird zunächst wiederum eine Maske 42, z. B. aus  $\text{SiO}_2$ , auf ein Halbleiter-Substrat 41, insbesondere auf Silizium als Halbleiter, aufgebracht (Figur 4a)). Mit Hilfe der Implantationsmaske 42 aus z. B.  $\text{SiO}_2$  wird im weiteren die Kontaktherstellung lateral begrenzt.

Auf diese Schichtstruktur 42, 41 wird zunächst eine Passivierungsschicht 46, z. B. eine Monolage eines Chalcogens, abgeschieden (Fig. 4b)).

Sodann wird auf diese Schicht 46 ein Metall 44 abgeschieden. (Fig. 4c)). Das Metall kann hierzu aus der Gruppe von z. B. Cobalt, Nickel, Titan, Platin, Wolfram oder Molybdän, als dünne Schicht 44 von z. B. 5 bis 50 Nanometern auf die Passivierungsschicht 46 abgeschieden werden.

Durch Temperung wird der Kontakt aus Metallsilizid 45 zur Halbleiterschicht 41 aus dem vorher mit dem Chalkogen abgeschiedenen Bereich der Silizium-Halbleiter-

schicht 41 und dem Metall 44 gebildet. Dabei wird das Chalkogen an den Grenzflächen 46a, 46b des Metallsilizids zur Halbleiterschicht 41 angereichert und so eine effiziente Passivierung erreicht. Die entstehende Schichtstruktur wird thermisch so behandelt, dass durch Silizidbildung ein passivierter Silizidkontakt entsteht (Figur 4d)). Dies bedeutet, dass eine Temperaturbehandlung sowohl für die Silizidierung und damit zur Herstellung des Metallsilizid-Halbleiter-Kontaktes als auch zur Passivierung der Grenzflächen 46a, 46b genutzt wird.

In den Ausführungsbeispielen 1 bis 4 sind somit als angrenzende Schichten jeweils Halbleiterschichten mit Substratfunktion angegeben.

Fünftes Ausführungsbeispiel (Fig. 5):

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es auch möglich die Austrittsarbeit von Metall-Gates mit diesem Verfahren einzustellen. Ein Metall oder ein Metallsilizid als erste Schicht wird als Gatekontakt eingesetzt, und die Austrittsarbeit kann mittels eines Chalkogens an der Grenzfläche zu einem Dielektrikum 57 als angrenzende Schicht eingestellt werden.

Wie in Ausführungsbeispiel zwei kann das Chalkogen in das vorher erzeugte Silizid oder in den Metallkontakt implantiert werden und durch eine Temperung an der Grenzfläche zwischen Metallsilizid 55 und Dielektrikum 57 angereichert werden, was eine Änderung der Austrittsarbeit zur Folge hat (Figur 5).

Der Kontakt besteht hier aus der passivierten Grenzfläche (nicht dargestellt) zwischen dem Metallsilizid 55 oder dem Metall als erste Schicht und dem Dielektrikum 57 als angrenzende Schicht. Diese Schichtstruktur ist auf einer Tragschicht 59 angeordnet.

Sechstes Ausführungsbeispiel (Fig. 6):  
Zur Ausbildung eines passivierten Kontaktes zwischen einem Metallsilizid 65 als erste Schicht und einem Isolator 67 als angrenzende Schicht auf einem Halbleiter-Substrat 69 wird nacheinander zunächst ein Dielektrikum 67, sodann ein amorphes oder ein Polysilizium oder alternativ eine poly-Si-Ge-Schicht 68 und hierauf sodann ein Metall 64 abgeschieden (Fig. 6a)). Die Passivierungselemente können mit dem Poly-Gate-Material 68 abgeschieden oder auch in dieses implantiert werden (nicht dargestellt). Schicht 68 und 64 weisen die silizium- und metallischen Anteile des zu bildenden Silizids 65 auf.

Es erfolgt eine thermische Behandlung, die zur Umwandlung beider Schichten 68 und 64, zur Bildung des Metallsilizids 65 und zur Passivierung der Grenzfläche 66a zum Dielektrikum 67 führt (Figur 6b)).

Besonders geeignet sind die Silizide  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{TiSi}_2$  und  $\text{NiSi}$ . Im Falle von poly-Si-Ge als Material für Schicht 68 sind die ternären Silizide  $\text{TiSi}_x\text{Ge}_y$  und  $\text{NiSi}_x\text{Ge}_y$  besonders geeignet. Beispielsweise kann Selen in das Poly-Silizium 68 implantiert werden und durch thermische Behandlung eine Anreicherung des Selen an der Grenzfläche 66a zwischen Metallsilizid 65 als erste Schicht und



Dielektrikum 67 als angrenzende Schicht erzielt werden und so die Austrittsarbeit des Metallsilizides 65 zum Dielektrikum 67 eingestellt werden.

5 Die Schichtdicke des Poly-Siliziums 68 und des Metalls 64 werden so gewählt, dass das Poly-Silizium vollständig oder nahezu vollständig silizidiert wird. Schicht 69 ist eine Tragschicht und besteht z. B. aus Silizium.

Siebttes Ausführungsbeispiel (Fig. 7):

10 Fig. 7 zeigt die Herstellung eines Schottky-Barrieren MOSFETs mit durch Passivierung negativen Schottky-Barrieren der Source und Drain-Kontakte.

Auf einem SOI-Substrat mit einer dünnen Silizium-Oberflächenschicht 71 von 5-50 Nanometer auf einer SiO<sub>2</sub>-Schicht 79 oder auf einer Oberflächenschicht aus Silizium 71 auf einer Si-Ge-Schicht 79 werden nach Herstellung der Gatestruktur 80, 81a, 81b (Fig. 7a)) die Source- und Drain-Kontakte 75a, b durch Silizidierung und Passivierung nach einem der in den Ausführungsbeispielen 1 bis 4 beschriebenen Verfahren hergestellt (Fig. 7b)).

15

20

Die Bauelementestruktur der Fig. 7a) besteht aus einem Dielektrikum 77 als angrenzende Schicht, welches auf der Halbleiterschicht aus Silizium 71 als erste Schicht angeordnet ist. Der Gatekontakt 80, die Isolationsspacer 81a und 81b und das Dielektrikum 77 sind, wie erwähnt, auf einem silicon on insulator oder auf einem SiGe-Substrat 71, 79 angeordnet Fig. 7a)). Die fertige Bauelementestruktur weist Metallsilizide 75a, b als

25

5 erste Schicht mit Funktion von Schottky-Source und Drain auf. Die Grenzflächen von Source und Drain 76a, b zum MOSFET Kanal 71 als angrenzende Schicht sind durch eine Temperaturbehandlung mit einem Passivierungselement angereichert.

10 Die Passivierung kann z. B. durch Implantation der Passivierungselemente in die späteren Source- und Drain-Bereiche der Siliziumschicht 71 und optional auch in das Gatematerial 80, z. B. in Poly-Silizium erfolgen. Anschließend wird ein Metall abgeschieden (nicht dargestellt) und durch eine Temperaturbehandlung selbstjustierend das Metallsilizid 75a, b als Source und Drain, und optional auch das Gatesilizid auf Poly-Silizium gebildet. Das nicht reagierte Metall auf den Spacern 81a und 81b - je nach Ausführung auch auf dem Gate 80 - wird nasschemisch entfernt. Die Passivierungselemente reichern sich während der thermischen Behandlung an den Grenzflächen 76a, b an und reduzieren die Schottky-Barriere des Silizides 75a, b. Je nach Anreicherungsgrad entsteht ein Kontakt mit kleiner oder negativer Barriere. Ein ohmscher Kontakt ist herstellbar, wenn die Barriere vollständig abgebaut wird, das heißt die Barrierenhöhe = 0 ist. Das Gate 80 kann alternativ auch als Metall- oder Metallsilizid-Gate-Kontakt nach einem 25 der oben beschriebenen Verfahren hergestellt werden (s. Fig. 5 und 6).

30 Besonders vorteilhaft ist es, als Ausgangs-Schichtstruktur die Silizium-Schicht 71 eines SOI-Substrats mit einer Dicke von etwa  $< 30$  Nanometer so klein zu wählen, dass full-depleted MOSFETs gebildet werden können. Wenn

werden können. Wenn die Gatelänge extrem klein, das heißt kleiner etwa 30 Nanometer gewählt wird und die Passivierung der  $\text{CoSi}_2$  bzw.  $\text{NiSi}$ -Source/Drain-Kontakte 75a, 75b z. B. mit Selen an der Source und Drainseite des Kontaktes in Kanalrichtung 76a, 76b zu einer negativen Schottky-Barriere führen, ist vorteilhaft ballistischer Transport von Ladungsträgern möglich, wie mittels Simulationsrechnungen von Lundström gezeigt wurde.

Achtes Ausführungsbeispiel (Fig. 7)

Schottky-Barrieren-Mosfet mit verspanntem Silizium bzw. mit Si-Ge-Schicht bzw. Si-Ge-C-Schicht 71:

Anstelle einer normalen Silizium-Schicht of SOI kann besonders vorteilhaft auch verspanntes Silizium oder Si-Ge, Si-Ge-C 71 auf  $\text{SiO}_2$  79 für die Herstellung von Schottky-Barrieren Mosfets eingesetzt werden.

Die Silizidierung und die Passivierung erfolgt wie in Ausführungsbeispiel 6 bzw. in den vorhergehenden Beispielen.

Anstelle eines konventionellen Gateaufbaues bestehend aus silizidiertem Poly-Silizium 80 auf  $\text{SiO}_2$  als Dielektrikum kann auch ein Metall-Gate nach den Ausführungsbeispielen 5 und 6 eingesetzt werden, um die Austrittsarbeit zum Dielektrikum 77 einstellen zu können. Als Dielektrikum 77 kann  $\text{SiO}_2$  oder ein beliebiges high-K Oxid verwendet werden.

Neuntes Ausführungsbeispiel:

Alternativ zu den genannten metallischen Siliziden können zur Ausbildung eines Kontaktes zwischen einem Halb-

5 leiter-Silizid als erste Schicht und einer Halbleiter-  
schicht als angrenzende Schicht die halbleitenden Sili-  
zide (z.B.  $\text{Ru}_2\text{Si}_3$ ,  $\beta\text{-FeSi}_2$ ) auf der angrenzenden Schicht  
aufgebracht werden und mittels Passivierung nach einem  
der oben genannten Verfahren, die Bandkantendiskontinu-  
itäten des Silizid/Silizium-Kontaktes verändert werden.  
Dadurch kann der elektrische Transport vom Silizid zum  
Silizium vorteilhaft beeinflusst werden.

10 Besonders vorteilhaft ist die Passivierung einer Grenz-  
fläche zwischen einem halbleitenden Silizid mit magne-  
tischen Eigenschaften und dem Silizium als Halbleiter-  
schicht. Halbleitende Silizide, wie z. B.  $\text{Ru}_2\text{Si}_3$ ,  $\beta\text{-FeSi}_2$ ,  
weisen nach Dotierung mittels Mn, Co, Fe magne-  
tische Eigenschaften auf.

15 Das in Fig. 7 b dargestellte Bauelement stellt einen  
Spintransistor dar, wenn die Source und Drain-Kontakte  
aus einem magnetischen, halbleitenden Silizid 75a, b  
gefertigt werden. Die Passivierung an der Grenzfläche  
begünstigt den Spintransport. Durch Anlegen eines Gate-  
20 potentials kann mittels Rashba-Effekt die Spinrichtung  
gedreht werden, so dass ein Spintransistor realisiert  
wird.

25 Es ist grundsätzlich möglich, an Stelle der genannten  
Metallsilizide in den Ausführungsbeispielen auch Metal-  
germanide als erste Schichten zu wählen. Insbesondere  
die erfindungsgemäß hergestellten Kobaltdisilizid-  
Halbleiter-Kontakte sind temperaturstabil.

Anstelle der oben beschriebenen single-Gate MOSFETs können auch Multi-Gate MOSFETs (FinFETs, Omega-Gate) mit solchen Kontakten hergestellt werden.

## Bezugszeichenliste:

- 1; 21; 31; 41; 71: Halbleiterschicht als angrenzende Schicht, insbesondere Halbleiterschicht aus Silizium.
- 2; 22; 32; 42: Maske z. B. aus  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  etc.
- 5      4; 34; 44; 64: Metall zur Bildung des Metallsilizids
- 5; 25; 35; 45; 55; 65; 75a, b: Metallsilizid als erste Schicht
- 6; 46: mit Passivierungselementen versehener Bereich 6; Passivierungsschicht 46
- 10     6a, b; 26a, b; 36a, b; 46a, b; 66a; 76a, b: passivierte Grenzfläche zwischen Metallsilizid und Halbleiterschicht
- 57, 67, 77: Gate-Dielektrikum ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , high k Material) als angrenzende Schicht
- 15     68: Silizium (poly, amorph) oder Si-Ge
- 59; 69; 79: Tragschicht, z. B. Silizium-Substrat
- 71: Silizium- oder verspannte Silizium- oder Germanium-Halbleiterschicht, oder Si-Ge-, oder Si-Ge-C- oder Si-C-Schicht als angrenzende Schicht.
- 20     75a, b: Metallsilizid als Source und Drain

76a, b: passivierte Grenzfläche zwischen Metallsilizid und Halbleiter, hier jeweilige Grenzfläche zwischen Source 75a bzw. Drain 75b und Kanalbereich 71.

79:  $\text{SiO}_2$  oder SiGe

5      80: Gate-Kontakt (poly-Si, Poly-SiGe, Metall, Silizid)

81a, b: Spacer ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

## P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines Kontaktes zwischen  
einer ersten Schicht (5; 25; 35; 45; 55; 65; 75a,  
b) und einer hieran angrenzenden Schicht (1, 21,  
31, 41, 71; 57, 67, 77),  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- Passivierungselemente in oder auf die erste  
Schicht (25; 55) und / oder die angrenzende Schicht  
(1; 21; 31; 41) oder in die Ausgangsbestandteile  
dieser Schichten (34, 54 64; 68, 71) durch Ionen-  
implantation oder Abscheidung ein- oder aufgebracht  
werden, und  
- diese mittels einer Temperaturbehandlung an min-  
destens einer Grenzfläche (6a, b; 26a, b; 36a, b;  
46a, b; 66a; 76a, b) der ersten Schicht zur angren-  
zenden Schicht angereichert werden.

2. Verfahren zur Herstellung eines Kontaktes zwischen  
einem Silizid (5; 25; 35; 45; 55; 65; 75 a, b) und  
einer zum Silizid angrenzenden Schicht (1, 21, 31,  
41, 71; 57, 67, 77),  
dadurch gekennzeichnet, dass  
- Passivierungselemente in oder auf die angrenzende  
Schicht (1; 21; 31; 41) mittels Ionenimplantation  
oder Abscheidung ein- oder aufgebracht und / oder  
in das Silizid (25; 55) oder in dessen metallischen  
(34; 54; 64) und / oder siliziumhaltigen (68, 71)  
Anteil eingebracht werden und  
- diese mittels einer Temperaturbehandlung an min-  
destens einer Grenzfläche (6a, b; 26a, b; 36a, b;



46a, b; 66a; 76a, b) des Silizids zur angrenzenden Schicht angereichert werden.

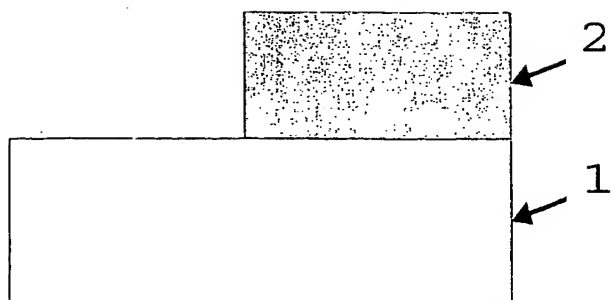
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
5 als erste Schicht ein Metallsilizid, ein Halbleitersilizid, ein Metallgermanid oder ein Metall gewählt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 als angrenzende Schicht eine Halbleiterschicht oder ein Dielektrikum gewählt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,  
gekennzeichnet durch  
15 Wahl von Silizium als Material für die angrenzende Schicht.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
20 die Passivierungselemente vor oder nach der Erzeugung des Silizids oder Germanids implantiert oder abgeschieden werden.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
gekennzeichnet durch  
mindestens eine Temperaturbehandlung zur Bildung  
25 des Silizids oder Germanids.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
durch Temperaturbehandlung die erste Schicht gebil-

det wird und die Passivierung der Grenzfläche(n) zur angrenzenden Schicht erfolgt.

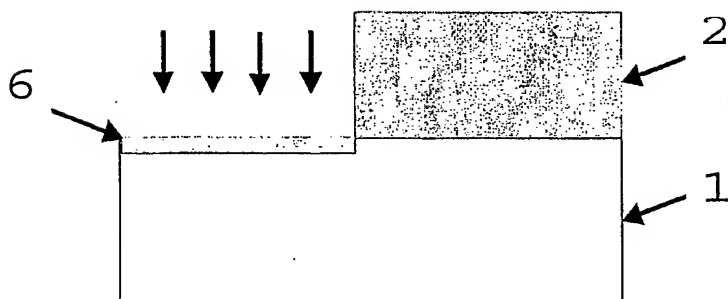
- 5 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anreicherung der Passivierungselemente an den Grenzflächen zwischen der ersten Schicht und der angrenzenden Schicht während einer Silizidierung erfolgt.
- 10 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, gekennzeichnet durch Wahl eines Chalkogens als Passivierungselement.
- 15 11. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch Wahl von Selen, Schwefel oder Tellur als Chalkogen.
- 20 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Passivierungselement mit einer Dosis von  $10^{12}$  bis  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$ , insbesondere  $10^{14}$  bis  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$  implantiert wird.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallanteil eines Metallsilizids oder Metallgermanids aus der Gruppe von Cobalt, Nickel, Titan, Platin, Wolfram und / oder Molybdän ausgewählt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Siliziumanteil eines Silizids als erste Schicht  
aus Polysilizium oder amorphem Silizium besteht.
- 5 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
gekennzeichnet durch  
Wahl von  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>, Ru<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>, MnSi<sub>x</sub> oder CrSi<sub>2</sub> als Halb-  
leiter-Silizid.
- 10 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Patentan-  
sprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Maske auf der angrenzenden Schicht angeordnet  
wird.
- 15 17. Bauelement umfassend mindestens einen passivierten  
Metall-Halbleiter- oder Metall-Isolator-Kontakt  
hergestellt nach einem der vorhergehenden Patentan-  
sprüche.
- 20 18. Schottky-Barrieren MOSFET mit einstellbarer, insbe-  
sondere negativer Schottky-Barriere als Source- und  
/ oder Drain-Kontakt als Bauelement nach Anspruch  
17.
- 25 19. Schottky-Barrieren MOSFET nach Anspruch 18,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Kontakte auf einem ultradünnen SOI-Substrat mit  
einer Siliziumdicke kleiner als 30 Nanometer ange-  
ordnet sind.

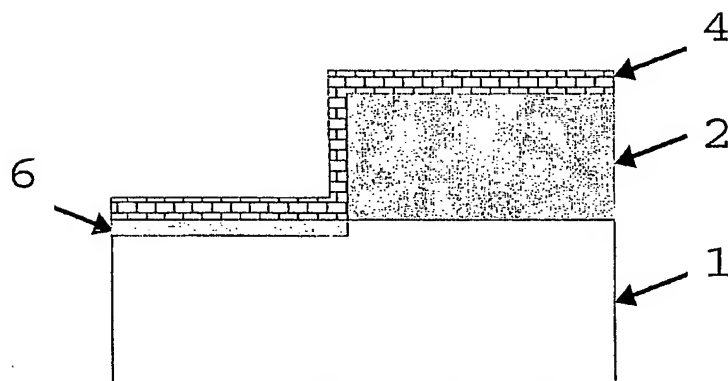
20. MOSFET mit einem mittels Passivierung einstellbarem Gate-Kontakt, als Bauelement nach einem der Ansprüche 17 bis 19.
- 5 21. Spin-Transistor, als Bauelement nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein halbleitendes Silizid als erste Schicht mit Mn oder Fe oder Co dotiert für die Bildung magnetischer Source und Drainkontakte gewählt wird.



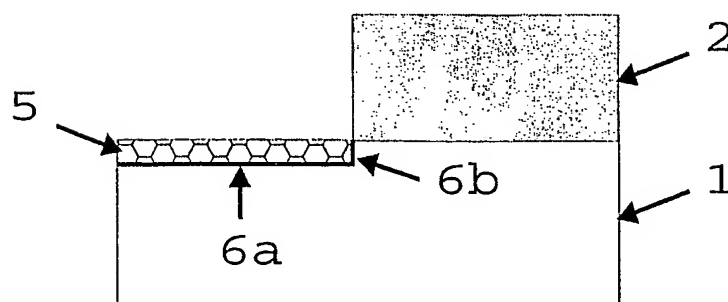
a)



b)



c)



d)

Fig. 1



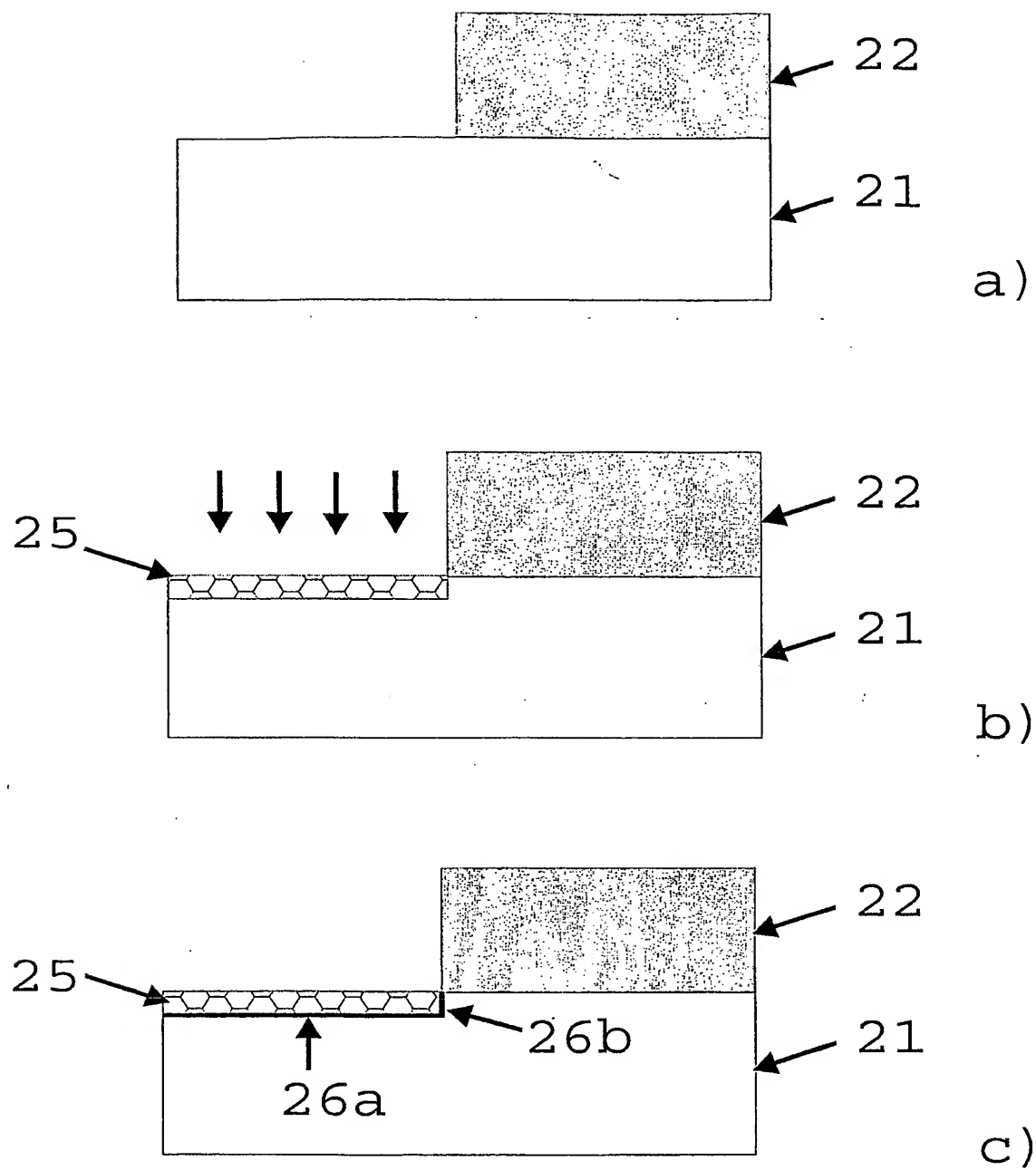


Fig. 2





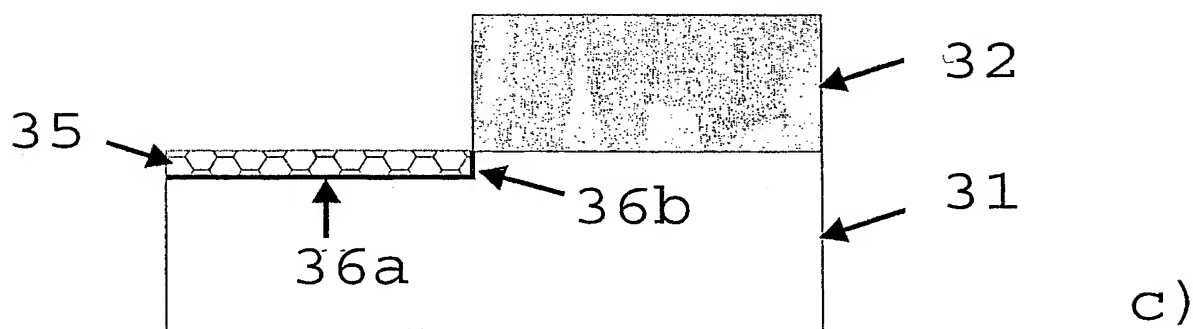
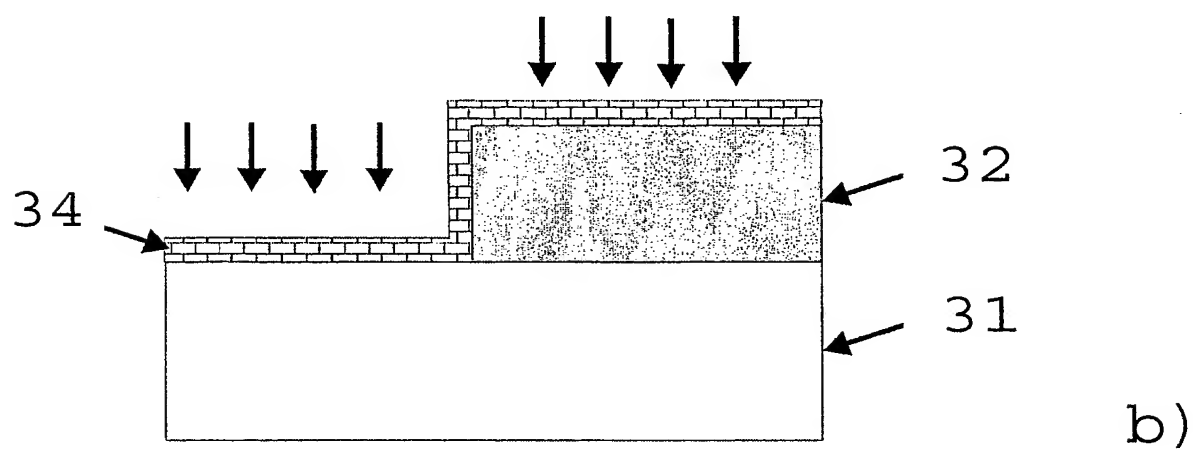
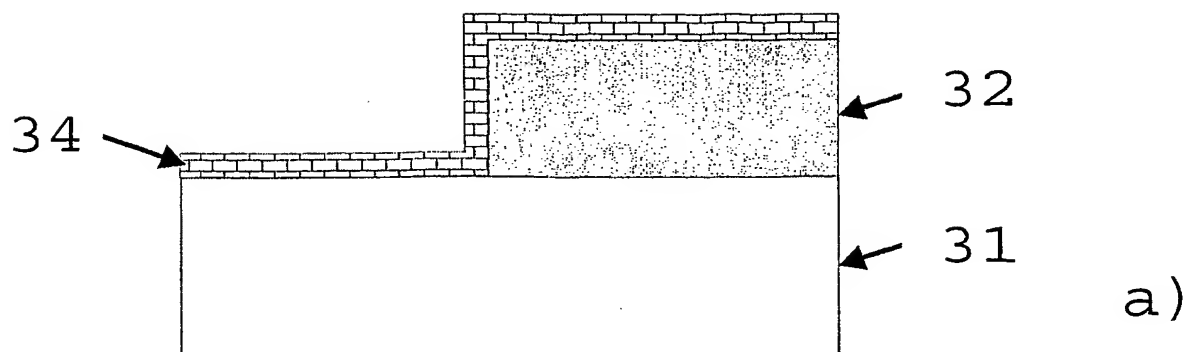


Fig. 3



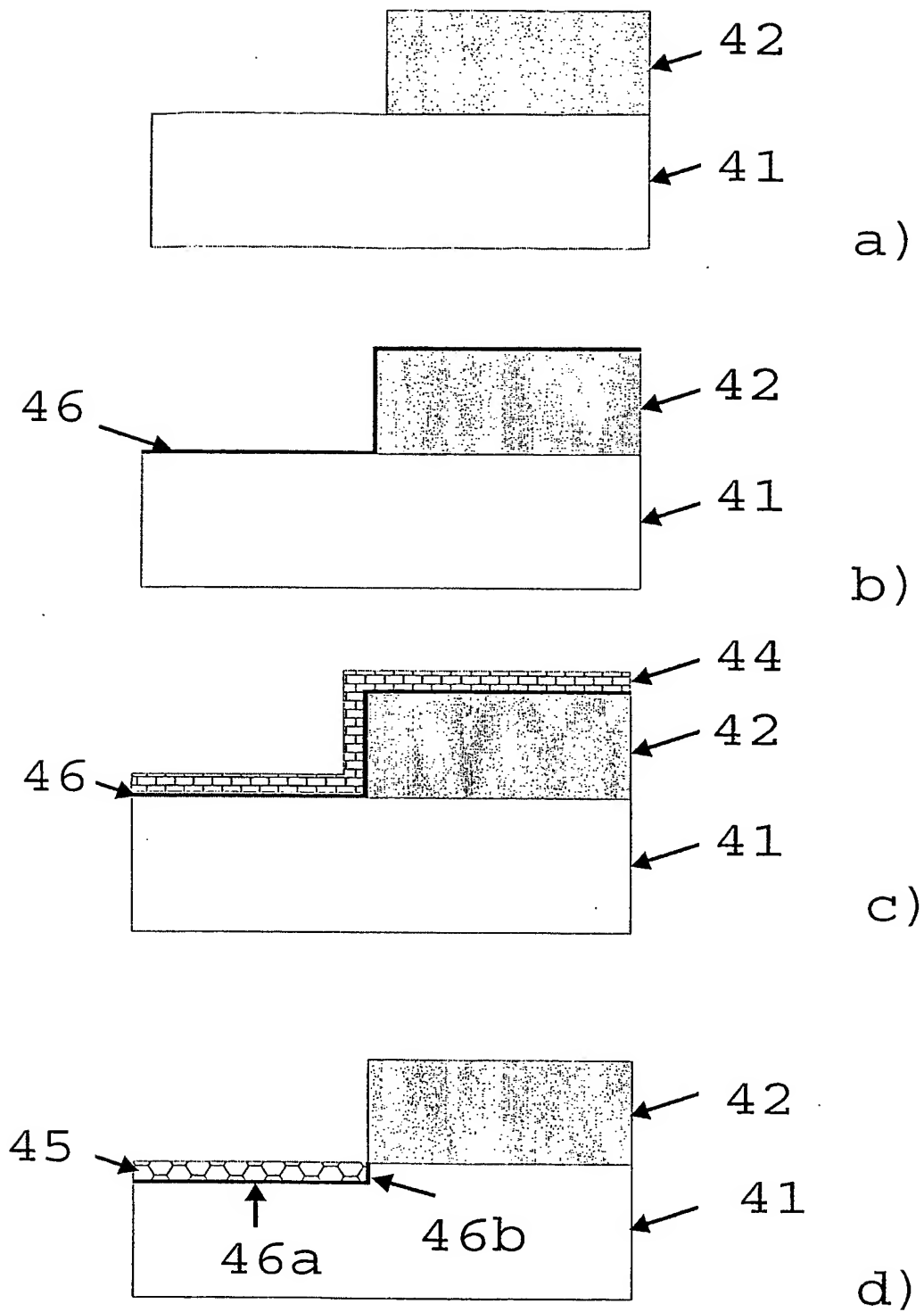


Fig. 4



5/6

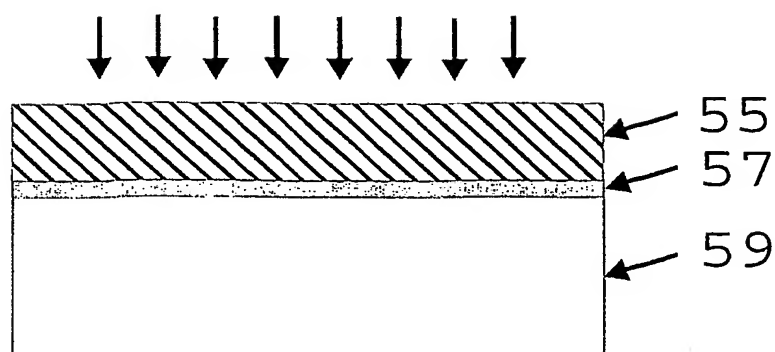
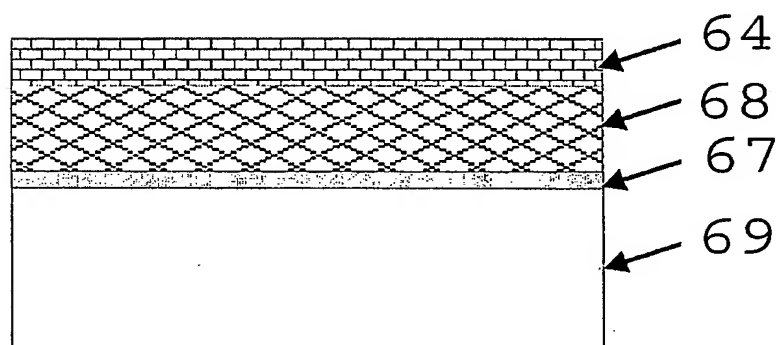
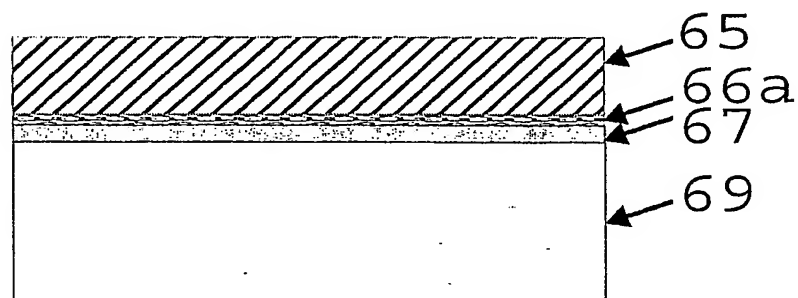


Fig. 5



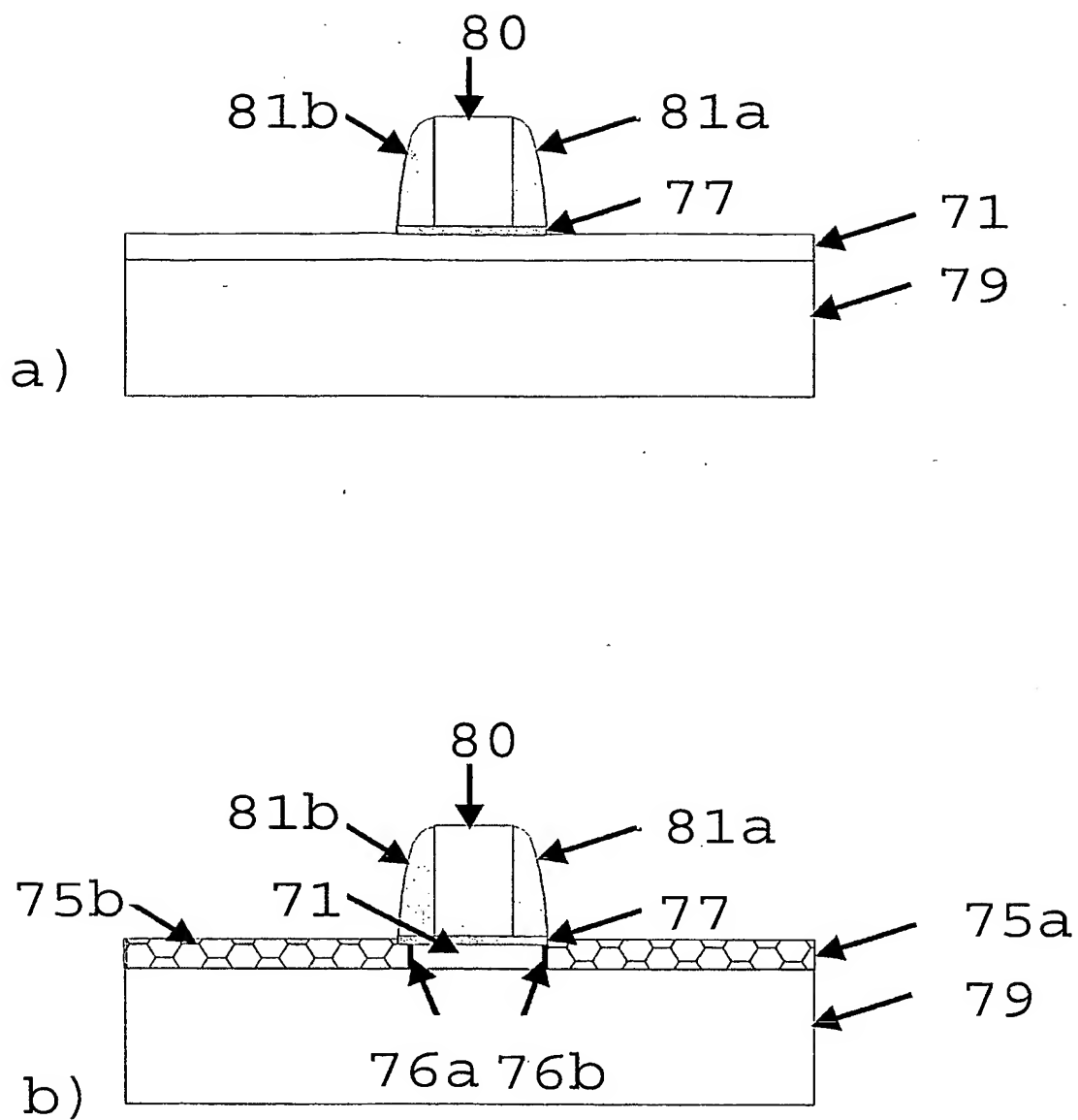
a)



b)

Fig. 6









# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE2004/001294

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L21/336

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	US 2001/038103 A1 (NITTA KOICHI ET AL) 8 November 2001 (2001-11-08) the whole document	1,3,4, 10,11,17
A	US 2002/094643 A1 (GUARINI KATHRYN W ET AL) 18 July 2002 (2002-07-18) abstract	1
T	US 3 849 204 A (FOWLER A) 19 November 1974 (1974-11-19) the whole document	1,4,5, 12,17

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 October 2004

Date of mailing of the international search report

09/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Boetticher, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/DE2004/001294

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☒ Claims Nos.: **1-21**  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:  
  
**SEE SUPPLEMENTAL SHEET PCT/ISA/210**
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

### Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/DE2004/001294**

### Continuation of Box II.2

#### Claims 1-21

Claim 1 is vague. The phrase "establishing a contact" is confusing on account of the term "dielectric" in claim 4, which indicates that the connection is not electrical as specified in (for example) the IPC classification H01L21/768. Claim 1 also lacks clarity and conciseness because the word "or" is used four times, because the term "passivating elements" is vague, and because there is not enough support in the description to determine which documents are prejudicial to novelty.

- US 3 849 204 (document D1) could be prejudicial to the novelty of claim 1, with silicon substrate 1 as the first layer and dielectric 2 as the adjacent layer. Hydrogen is implanted in the first layer as a passivating element (passivating according to page 2, lines 20 to 25 of the application) and a heat treatment is carried out in which the interface is passivated by the hydrogen (figure 1C), which is easier if the hydrogen is enriched at the interface. The application does not give any values for hydrogen as a passivating element (despite the requirement of PCT Article 5); therefore, if there is no enrichment in D1, claim 1 would claim only a desired result without specifying how it is supposed to be achieved.
- US 2001/038103 A1 (document D2) (see figures 5 to 7) could be prejudicial to the novelty of claim 1, with contact layer 16 as the adjacent layer (a semiconductor layer, as in claim 4) and electrode layer 34' as the first layer (a metal, as in claim 3). In D2 an element such as sulphur, selenium or tellurium (chalcogens, as in claim 11) is implanted (paragraph 99) and then removed from the electrode layer by heat treatment (paragraph 108), which undoubtedly increases the concentration at the interface. Otherwise claim 1 would relate to a desired result without specifying how it is supposed to be achieved. However, the application does support chalcogen enrichment at the interface with a silicide (claim 2 in conjunction with claims 10 and 11).

Since it cannot be determined whether these documents are relevant or whether there is a lack of unity of invention with claim 2, it is not possible to carry out a meaningful search.

The applicant is advised that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established cannot normally be the subject of an international preliminary examination (PCT Rule 66.1(e)). In its capacity as International Preliminary Examining Authority the EPO generally will not carry out a preliminary examination for subject matter that has not been searched. This also applies to cases where the claims were amended after receipt of the international search report (PCT Article 19) or where the applicant submits new claims in the course of the procedure under PCT Chapter II. However, after entry into the regional phase before the EPO an additional search may be carried out in the course of the examination (cf. EPO Guidelines, Part C, VI, 8.5) if the deficiencies that led to the declaration under PCT Article 17(2) have been corrected.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/001294

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2001038103	A1	08-11-2001	JP 10247747 A	14-09-1998
			US 6281526 B1	28-08-2001
US 2002094643	A1	18-07-2002	US 2003132492 A1	17-07-2003
US 3849204	A	19-11-1974	CA 994924 A1	10-08-1976
			DE 2422195 A1	16-01-1975
			GB 1454237 A	03-11-1976
			JP 1000610 C	30-05-1980
			JP 51006679 A	20-01-1976
			JP 54033917 B	23-10-1979